

BÖL

Bundesprogramm
Ökologischer
Landbau

Optimierter Einsatz von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien - 2. Zwischenbericht -

Optimized use of potato protein concentrates in organic aquaculture diets for rainbow trout

FKZ: 08OE058

Projektnehmer:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung (FB Aquakultur)
Hermann-Rodewald-Straße 6, 24118 Kiel
Tel.: +49 431 8802584
Fax: +49 431 8802588
E-Mail: cschulz@tierzucht.uni-kiel.de
Internet: <http://www.agrar.uni-kiel.de>

Autoren:

Tusche, Karsten

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

2. ZWISCHENBERICHT

Optimierter Einsatz von Kartoffelprotein in der Ernährung von Regenbogenforellen nach ökologischen Kriterien



Prof. Dr. Carsten Schulz, M.Sc. Karsten Tusche

Christian-Albrechts-Universität, Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Fachbereich: Aquakultur

Olsenhausenstraße 40, 24098 Kiel

Tel.: +49 4834 96539914, Fax: +49 4824 96539999

E-Mail: tusche@gma-buesum.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des Bundesprogramms ökologischer Landbau

Förderkennzeichen: 08OE058

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	3
1.1 Gesamtziel des Vorhabens	3
1.2 Wissenschaftliche und / oder technische Arbeitsziele des Gesamtvorhabens	4
1.3 Projektbearbeitung	4
2. Vorgehensweise	6
3. Erster Versuch.....	7
4. Versuch zur Appetenzsteigerung von Kartoffelproteinfuttermitteln	14
5. Status der weiteren Projektbearbeitung	22

1. Ausgangslage

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

In der ökologischen Fischproduktion ist die Futtermittelherstellung streng reglementiert. Die für die Ernährung von carnivoren Fischarten wie der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) hochwertigen Fischmehle dürfen gemäß den Produktionskriterien von NATURLAND lediglich aus nachhaltig zertifizierter Fischerei (z.B. MSC-Standard), aus Beifängen der Speisefischerei oder aus Überresten der Verarbeitung von ökologisch produzierten Fischen derselben geographischen Region bezogen werden. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit soll die Fischmehlverwendung durch Nutzung alternativer Proteinquellen auf ein Minimum reduziert werden. Der Einsatz nativer pflanzlicher Mehle ist wegen der geringen Proteingehalte, möglicher limitierender Aminosäuren und antinutritiver Inhaltsstoffe begrenzt. Pflanzliche Proteinkonzentrate mit hohen Proteingehalten von 70-90 % dürfen in der ökologischen Fischproduktion nur bei lösungsmittelfreier Aufbereitung eingesetzt werden, was den Einsatz von Proteinisolaten aus Soja, Raps oder Lupine ausschließt. Zudem ist der zur Aufwertung der biologischen Wertigkeit der pflanzlichen Proteine notwendige Einsatz synthetischer Aminosäuren untersagt, so dass alternative Proteinquellen in der ökologischen Fischproduktion nur begrenzt einsetzbar sind. Kartoffeleiweiß weist im Vergleich zu Eiweißen anderer Pflanzen wie Soja oder Raps eine hochwertigere Proteinzusammensetzung ohne limitierende Aminosäuren auf und wird aufgrund der lösungsmittelfreien Herstellung und dem regionalen Anbau als Proteinträger in der Tierernährung nach ökologischen Kriterien anerkannt.

Zur Substitution des Fischmehlanteils in den Öko-Fischfuttermitteln soll deshalb der Einsatz von Kartoffeleiweiß in der Ernährung von Regenbogenforellen (RF) untersucht werden. Dabei soll unter Berücksichtigung möglicher antinutritiver Inhaltsstoffe, wie z.B. Solanin oder Chaconin, die maximale Kartoffeleiweißverwendung ermittelt werden, die keine negativen Auswirkungen auf die Wachstumsleistungen und den Gesundheitsstatus der RF aufweist. Darauf aufbauend soll durch die gezielte Kombination von Kartoffeleiweiß mit dem ebenfalls in der Öko-Tierproduktion zugelassenen, aber ernährungsphysiologisch minderwertigeren Weizenklebereiweiß eine preisgünstigere Futtermittelzusammensetzung zur maximal möglichen Fischmehlsubstitution in Öko-Fischfuttermitteln hergestellt werden, sowie der Einfluss auf die sensorische Produktqualität berücksichtigt werden.

1.2 Wissenschaftliche und / oder technische Arbeitsziele des Gesamtvorhabens

Das Projektvorhaben dient der Entwicklung von Futtermitteln mit hohen Anteilen pflanzlicher Rohstoffe (Kartoffel / Weizeneiweiß), die in der ökologischen Fischproduktion eingesetzt werden können. Konkret ergeben sich folgende Fragestellungen, die im beantragten Projektvorhaben bearbeitet werden sollen:

- Wie hoch ist der Gehalt an Glykoalkaloiden in Kartoffeleiweiß-Produkten aus handelsüblicher Produktion?
- Wie viel des Fischmehlproteins können unter Berücksichtigung der Glykoalkaloidgehalte durch Kartoffelprotein in der RF-Ernährung ersetzt werden?
- Welche Auswirkungen auf die Nährstoffverdaulichkeit hat die Verwendung von Kartoffelprotein in der RF-Ernährung?
- Führt die Verwendung von Kartoffelprotein zu histopathologischen Veränderungen des Verdauungstraktes von RF?
- Kann durch den kombinierten Einsatz mit Weizenkleberprotein eine optimierte Nutzung des Kartoffelproteins erreicht werden?
- Welche Auswirkungen auf die Nährstoffverdaulichkeit hat die Verwendung von kombinierten Kartoffel-/Weizenprotein in der Fischernährung?
- Führt eine kombinierte Verwendung von Kartoffel- und Weizenkleberprotein zu histopathologischen Veränderungen des Verdauungstraktes von RF?
- Hat die Nutzung von Kartoffelprotein und Weizenkleber Einfluss auf die chemische, physikalische und sensorische Produktqualität von Regenbogenforellen?

1.3 Projektbearbeitung

Nach Erhalt des Zuwendungsbescheides wurde mit der Projektbearbeitung am 01.12.2008 begonnen. Die gesamte Projektbearbeitungsdauer erstreckt sich vom 01.12.2008 bis zum 31.10.2011. In der ersten Phase wurden vorbereitende Maßnahmen zur Laboranalytik (Verbrauchsmaterialien) und zur praktischen Durchführung der Untersuchung umgesetzt, als auch die Personaleinstellung vorbereitet.

Zum 01.02.2009 konnte M.Sc. Karsten Tusche als verantwortlicher Projektmitarbeiter eingestellt werden. Nach kurzer Einarbeitungszeit erfolgte die Aufnahme des veranschlagten Zeit- und Arbeitsplans, der im Folgenden kurz aufgezeigt werden soll.

Tabelle 1: Versuchsplan

Arbeitspaket	12/2008	01-06.2009	07-12.2009	01-06.2010	07-12.2010	01-06.2011	07-10.2011
1	Erfassung der Qualität und Solanidinglycoalkaloidgehalte von handelsüblichen in Kartoffeleiweiß-Produkten						
2	Substitutionsmöglichkeiten des Fischmehlproteins durch Kartoffelprotein						
3	Erfassung histopathologischer Veränderungen nach Kartoffelproteinfütterung						
4	Substitutionsmöglichkeiten des Fischmehlproteins durch den kombinierten Einsatz von Weizenkleber- und Kartoffeleiweißprotein						
5	Erfassung histopathologischer Veränderungen nach kombinierten Kartoffel-/Weizenproteinfütterung						

2. Vorgehensweise

Wie im Projektantrag beschrieben, soll im Versuchsvorhaben der Einsatz von Kartoffelproteinen mit unterschiedlichen Glykoalkaloidgehalten in der Ernährung von Regenbogenforellen zur maximalen Fischmehlsubstitution untersucht werden. Angestrebt wird dabei, eine Kartoffelproteinherkunft bzw. -qualität zu erhalten, die möglichst keine Auswirkungen auf die Wachstumsleistung und den Gesundheitszustand der Fische zeigen.

Diesbezüglich wurde zunächst der Markt nach Angeboten für Kartoffelproteine untersucht. Da die Verfügbarkeit aufgrund der geringen Nachfrage stark eingeschränkt ist, konnten lediglich 3 unterschiedliche Kartoffelproteine bezogen werden. Im Anschluss erfolgte die Analytik der Nährstoffgehalte (Weender Futtermittelanalytik), als auch die Bestimmung der Glykoalkaloidgehalte, sowie der Aminosäurezusammensetzung.

Tabelle 2: Ergebnisse Rohstoffanalytik

	Futtermittel Rohstoffe							
	Fisch mehl	PPC IG	PPC K5	PPC Süd stärke	Weizen Kleber Loryma	Weizen Kleber Cargill	Weizen Kleber Südstärke	Weizen stärke
<i>Inhaltstoffe (% TS)</i>								
Trockensubstanz (TS)	91,8	91,96	95,58	91,29	94,35	92,83	92,82	89,81
Wasser	8,1	8,04	4,42	8,71	5,65	7,17	7,18	10,19
Rohprotein	68,9	84,17	85,9	80,18	82,95	81,88	81,57	0,28
Rohfett	6,9	2,94	3,29	4,75	5,85	5,2	5,30	0,36
Rohfaser	0,5	0,63	0,05	1,06	0,26	0,59	0,66	0,03
Stärke	1,9	0,35	1,01	0,53	10,22	9,38	5,38	92,39
Rohasche	20,6	2,09	0,85	2,35	0,73	1,01	1,54	0,11
<i>Glykoalkaloide (mg kg⁻¹ TS)</i>								
Solanin		1060,00	4,40	795,00				
Chaconin		1090,00	3,01	1240,00				

Bei den zur Verfügung stehenden Kartoffelproteinen (PPC = potato protein concentrate) handelt es sich um 2 Rohprodukte („IG“ und „Südstärke“), wie sie nach der Heißdampfextraktion und anschließender Trocknung anfallen, sowie ein weiterverarbeitetes Protein („K5“). Bei Letzterem wurde der Solanin- und Chaconingehalt durch technische Reinigungsprozesse bis auf ein Minimum gesenkt. Aus der vorhergehenden Tabelle 2 lässt sich entnehmen, dass die Kartoffelproteine „IG“ und „Südstärke“ einen Gesamtgehalt an Glykoalkaloiden zw. 2035-2150 mg/kg TS im Rohstoff aufweisen. Diese Menge entspricht Gehalten, welche laut Literatur bereits in früheren Untersuchungen zum Einsatz kamen. Das

Kartoffelprotein „K5“ weist in der Gesamtheit lediglich Glykoalkaloidgehalte von 7,41 mg/kg TS auf.

Auf der Basis der Analytik wurden als Austauschprodukt die Proteine „K5“ (PPC1) und „IG“ (PPC2) der Firma Emsland Gruppe ausgewählt. Sie weisen jeweils einen sehr hohen Proteingehalt auf und unterscheiden sich stark in ihrem Gehalt an Glykoalkaloiden. Des Weiteren lässt sich festhalten, dass alle Kartoffelproteine Aminosäuremuster aufweisen, welche einer bedarfsgerechten Forellenernährung entsprechen und somit keinerlei Supplementierung mit einzelnen Aminosäuren notwendig ist.

Neben den Kartoffelproteinen wurden ebenfalls alle weiteren Futterrohstoffe einer genauen Nährstoff- und Aminosäureanalytik unterzogen. Dies ist zwingend notwendig, um bei der Futtermittelherstellung isonitrogene und isoenergetische Futtermittel zu erzeugen, die zudem in der Nährstoffqualität nicht differieren. Das genutzte Fischmehl ist ein gemäß den Richtlinien der ökologischen Fischproduktion zugelassenes Schlachtkörpermehl (Vereinigte Fischmehlwerke Cuxhaven) und die Weizenprodukte entstammen ökologischer Herkunft.

3. Erster Versuch

Material und Methoden

Versuchsfuttermittel

Anhand der Rohstoffanalyseergebnisse wurden die zu verwendenden Futterinhaltsstoffe festgelegt und die genauen Zusammensetzungen der einzelnen Futtermittel für den ersten Versuch errechnet. Der Rohproteingehalt der Futtermittel sollte ca. 46 % betragen und der Rohfettgehalt 15 % nicht überschreiten. In der Kontrollgruppe wurde ausschließlich Fischmehl als Hauptproteinquelle eingesetzt. Bei den weiteren Gruppen wurde das aus dem Fischmehl stammende Protein sukzessive von 0 auf 100 % durch die jeweiligen Kartoffelproteine ausgetauscht. In den Futtermitteln LG1, LG2, LG3 und LG4 kam das Kartoffelprotein K5 (PPC1) mit geringem Glykoalkaloidgehalt (LG = low glycoalkaloid content) zum Einsatz. Bei den Futtermitteln HG1, HG2, HG3 und HG4 wurde das Kartoffelprotein IG (PPC2) mit hohem Glykoalkaloidgehalt (HG = high glycoalkaloid content) verwendet. Die Zusammensetzung und Nährstoffgehalte der 9 Futtermittel sind in Tabelle 1 dargestellt. Alle Inhaltsstoffe wurden zu Pellets mit einem Durchmesser von 4 mm verarbeitet (L 14-175, AMANDUS KAHL, Reinbek, Germany). Anschließend wurden alle Futtermittel ein weiteres Mal auf ihre Nährstoffgehalte analysiert, um zu überprüfen, ob die Futtermittel für die Versuchsdurchführung geeignet sind.

Tabelle 3: Inhaltsstoffe und Nährstoffzusammensetzung der Futtermittel für den 1. Versuch

	Futtermittel								
	Kontrolle	LG1	LG2	LG3	LG4	HG1	HG2	HG3	HG4
<i>Inhaltsstoffe (g kg⁻¹)</i>									
Fischmehl	686	514	343	171	-	514	343	171	-
PPC 1	-	132	265	397	529	-	-	-	-
PPC 2	-	-	-	-	-	140	281	421	561
Fischöl	100	107	114	121	129	107	115	122	130
Weizenstärke	145	137	129	120	112	135	125	116	106
Weizenkleber	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Vit/Min Premix	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cellulose	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Titan Dioxide (TiO ₂)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Magnesiumsilikat	-	40	80	120	160	33	66	99	133
<i>Nährstoffe (g kg⁻¹)</i>									
Trockensubstanz	929	936	944	952	959	930	932	935	938
Rohprotein	488	490	486	483	477	492	491	488	485
Rohfett	145	158	158	156	145	156	153	158	154
Asche	183	179	186	192	199	178	177	179	181
Bruttoenergie (MJ kg ⁻¹)	20.4	20.3	20.6	20.4	20.4	20.3	20.8	21.1	21.1
<i>Glykoalkaloide (mg kg⁻¹)</i>									
Solanin	-	0.4	0.8	1.2	1.6	166	306	459	612
Chaconin	-	0.6	1.2	1.7	2.3	149	298	446	595

Versuchsaufbau

Der Fütterungsversuch erfolgte in einem Kreislaufsystem der Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH (Büsum, Deutschland). Es handelte sich um eine Aquarienanlage mit einem Gesamtvolumen von 9 m³ Wasservolumen. In diese sind zwei biologische Wasseraufbereitungen, Belüftungssysteme, sowie 40 Becken mit einem jeweiligen Wasservolumen von 175 Liter integriert. Die tägliche Beleuchtung erfolgte von 06:30 Uhr bis 18:30 Uhr (12 hL:12 hD). Zur Erfassung der Umweltparameter wurden während des Versuchs täglich die Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt, sowie die Gehalte an Ammonium und Nitrit im Kreislaufwasser ermittelt. Die Temperatur betrug während des gesamten Zeitraums durchschnittlich 14,3 ± 0,4°C, der Sauerstoffgehalt 9,71 ± 0,38 mg l⁻¹, der Ammoniumgehalt

$0,15 \pm 0,27 \text{ mg l}^{-1}$ und der Nitritgehalt $0,71 \pm 0,37 \text{ mg l}^{-1}$. Desweiteren wurden täglich ca. 25% des Wasservolumens ausgetauscht. Die Werte liegen innerhalb der aus Literatur bekannten optimalen Werte und haben somit keinen negativen Einfluss auf die Fischgesundheit.

Für den Versuch wurden Regenbogenforellensetzlinge mit einem Gewicht von durchschnittlich 25 g bezogen. Vor Versuchsbeginn erfolgte eine zweiwöchige Akklimatisierung an die Gegebenheiten vor Ort. In dieser Zeit erhielten die Individuen ein kommerzielles Forellenfutter (AllerAqua, Performa 45/20 2mm) mit einer täglichen Fütterungsintensität von 3% des Körpergewichts. Zum Versuchsbeginn wurden 540 Regenbogenforellen (Durchschnittsgewicht $27,77 \text{ g} \pm 0,30$) nach dem Zufallsprinzip auf 27 Tanks verteilt. Den 9 Futtergruppen wurden ebenfalls nach dem Zufallsprinzip je 3 Tanks zugeordnet ($n=3$). Über einen Zeitraum von 84 Tagen wurde 2x täglich bis zur scheinbaren Sättigung gefüttert und die entsprechenden Futtermengen erfasst. Alle 2 Wochen erfolgte eine Zwischenwiegung zur Erfassung von Wachstumsparametern und der Futterverwertung.

Abschlussuntersuchung

Zur Bestimmung der Länge, des Gewichtes und der chemischen Körperzusammensetzung wurden zum Beginn des Versuchs 10 Tiere entnommen und bis zur Analyse bei -20°C gelagert. Zum Versuchsende wurden alle Fische abschließend gewogen. Pro Tank wurden 3 Individuen für die Ganzkörperanalytik entnommen. Weiterhin wurden 3 Individuen pro Tank verwendet um Wachstums- und Futterverwertungsparameter zu erfassen (Länge, Gewicht, Lebergewicht) und berechnen zu können. Desweiteren erfolgte eine Entnahme von Blut- und Gewebeproben zur Bestimmung und Bewertung physiologischer Parameter.

Blutparameter

Um den Einfluss verschiedener Kartoffelprotein- und Glykoalkaloidkonzentrationen auf den Gesundheits- und Ernährungszustand bewerten zu können, erfolgte bei 3 Individuen pro Tank eine Blutentnahme. Mittels einer heparinisierten Spritze wurden 2ml Vollblut aus der Kaudalvene entnommen. Durch zentrifugieren eines kleinen Teils der gerinnungsfreien Probe in Haematokritröhrchen wurde der Blutsenkungswert bestimmt. Der Rest des Vollblutes wurde ebenfalls zentrifugiert (1000g, 5min) und das Plasma bis zu weitergehenden Untersuchungen bei -80°C tiefgefroren. Glukose, Triglyceride und Proteine wurden über einen Mikroplattenleser (Tecan® Infinite 200) mit Lumineszenzdetektor und parameterspezifischen Testkits (Tabelle 4) ermittelt.

Tabelle 4: Verwendete Testverfahren für die Blutparameterbestimmung

Parameter	Hersteller	Kit	Probenmenge [μ l]	Verdünnung	Reagenz [μ l]
Glukose	Greiner	GOD-PAP	5	-	250
Triglyceride	Greiner	GPO-PAP	5	1:2	250
Proteine	Roth	RotiQuant	50	1:200	200

Ganzkörperanalyse / Futtermittelanalyse

Für die Analyse der Ganzkörperzusammensetzung wurden alle Fischproben für 96 h Gefriergetrocknet und homogenisiert. Die Proteinbestimmung erfolgte nach dem Kjeldahl Verfahren ($N \times 6,25$). Aufschluss, Destillation und Titration wurde mit Geräten der Firma Büchi (Büchi Digestion Unit K-435 und Destillation Unit B-324) durchgeführt. Rohfettgehalte wurden durch Extraktion mit Petrolether in einer Soxleth-Einheit ermittelt. Der Trockensubstanzgehalt wurde durch Trocknung bei 105°C bis auf ein konstantes Gewicht bestimmt. Der Rohaschegehalt wurde durch vollständige Verbrennung der Probe in einem Muffelofen bei 450°C über 18h ermittelt. Mittels eines Bombenkalorimeters (IKA®Kalorimeter 200c) erfolgte die Bestimmung des Bruttoenergiegehaltes.

Histologische Untersuchungen

Teile von Magen, Vorder-, Enddarm und Leber wurden für die histologischen Untersuchungen entnommen und in 4% phosphatgepuffertem Formalin fixiert. Nach der Fixierung wurden die Präparate mit Ethanol dehydriert, in Paraffin gebettet, geschnitten und im Hämatoxylin-Eosin-Verfahren angefärbt. Die Schnitte wurden mikroskopisch untersucht und bewertet.

Statistische Auswertung

Der Einfluss variierender Proteinquellen und Glykoalkaloidgehalte auf die ermittelten Versuchsparameter wurde mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse erfasst. Der Vergleich der Mittelwerte der Fütterungsgruppen ($n=3$) untereinander wird mit dem multiplen Mittelwertvergleich nach Tukey HSD (homogene Varianzen nach Levene) oder Dunnett T3 (inhomogene Varianzen nach Levene) ermittelt. Alle Werte sind als Mittelwert \pm SE angegeben. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS 17.0 für Windows durchgeführt

Ergebnisse*Wachstum*

Am Ende des Experiments wiesen die Fische der Kontrollgruppe ein durchschnittliches Endgewicht von 127,9g auf, während alle anderen Gruppen deutlich dahinter zurück blieben

(Tabelle 5). Die Futtergruppen LG1, LG2, LG3 und LG4 waren untereinander nicht verschieden voneinander, konnten jedoch im Vergleich zur Kontrollgruppe ihr Gewicht im Versuchszeitraum nur knapp verdoppeln.

Tabelle 5: Wachstum und Parameter der Futterverwertung von Regenbogenforellen bei der Fütterung von verschiedenen Kartoffelproteinquellen und Glykoalkaloidkonzentrationen. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Parameter	Versuchsfuttermittel								
	Kontrolle	LG1	LG2	LG3	LG4	HG1	HG2	HG3	HG4
IBW ¹	27.8±0.4	27.5±0.2	27.6±0.1	27.8±0.3	27.8±0.3	27.8±0.2	27.7±0.4	28.0±0.3	28.1±0.1
FBW ²	127.9 ^a ±12.5	52.9 ^b ±6.4	46.5 ^b ±2.0	43.3 ^b ±4.3	50.7 ^b ±1.0	27.6 ^c ±1.4	22.9 ^c ±0.4	20.9 ^c ±1.7	20.7 ^c ±1.5
DFI ³	2.07 ^a ±0.1	1.46 ^b ±0.1	1.47 ^b ±0.0	1.45 ^b ±0.1	1.32 ^b ±0.1	0.78 ^c ±0.2	0.48 ^d ±0.2	0.29 ^d ±0.0	0.03 ^a ±0.0
SGR ⁴	1.84 ^a ±0.1	0.78 ^b ±0.2	0.63 ^b ±0.0	0.53 ^b ±0.1	0.72 ^b ±0.0	-0.01 ^c ±0.1	-0.26 ^d ±0.0	-0.35 ^d ±0.1	-0.37 ^e ±0.1
FCR ⁵	1.13 ^a ±0.0	2.00 ^b ±0.2	2.51 ^b ±0.1	3.05 ^c ±0.3	1.91 ^{ab} ±0.1	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d
PER ⁶	1.95 ^a ±0.1	1.10 ^b ±0.2	0.87 ^b ±0.1	0.72 ^c ±0.2	1.14 ^b ±0.1	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d
PPV ⁷	32.9 ^a ±0.8	18.0 ^b ±2.6	16.4 ^b ±1.6	13.4 ^c ±2.7	19.7 ^b ±1.3	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d	n.c. ^d
HSI ⁸	1.12 ^{ab} ±0.1	1.13 ^a ±0.2	1.16 ^a ±0.2	1.21 ^a ±0.2	1.26 ^a ±0.2	0.81 ^b ±0.1	0.85 ^{ab} ±0.3	0.83 ^b ±0.1	0.82 ^b ±0.1
FCF ⁹	1.20 ^a ±0.1	1.06 ^a ±0.2	1.09 ^a ±0.1	1.06 ^a ±0.2	1.06 ^a ±0.1	0.87 ^b ±0.1	0.86 ^b ±0.1	0.81 ^b ±0.0	0.80 ^b ±0.1

¹Anfangsgewicht; ²Endgewicht; ³tägliche Futtermittelaufnahme (% Tag⁻¹); ⁴spezifische Wachstumsrate (% Tag⁻¹) = $[\ln(\text{FBW}) - \ln(\text{IBW})] / \text{Fütterungstage} \times 100$; ⁵Futterquotient = Futter (g) / Zuwachs (g); ⁶Proteinwirkungsverhältnis = Gewichtszunahme (g) / Proteinaufnahme (g); ⁷Proteinretention = $100 \times [(\text{RP Fisch}_x \times \text{Biomasse}_x) - (\text{RP Fisch}_0 \times \text{Biomasse}_0)] / (\text{RP Futter} \times \text{gesamte Futtermittelaufnahme})$; ⁸Hepatosomatischer Index = $(\text{Lebergewicht} / \text{Körpergewicht}) \times 100$; ⁹Korpulenzfaktor = $100 \times \text{Körpergewicht} \times \text{Körperlänge}^{-3}$; n.c. = aufgrund nicht vorhandener Futterverwertung, wurden diese Gruppen aus der Parameterberechnung herausgenommen;

In der Versuchsgruppen mit hohen Glykoalkaloidkonzentrationen im Futtermittel konnte kein oder sogar negatives Wachstum festgestellt werden. Vergleichbare Werte stellten sich auch in der spezifischen Wachstumsrate (SGR) dar. Mit steigendem Austausch von Fischmehl durch Kartoffelproteinkonzentrate und somit steigenden Glykoalkaloidkonzentrationen ging die Futtermittelaufnahme signifikant zurück ($P < 0,05$). Aufgrund der Tatsache, dass in den Futtergruppen HG1, HG2, HG3 und HG4 negative Zuwächse erfasst werden mussten, waren bei diesen Gruppen der Futterquotient (FCR), das Proteinwirkungsverhältnis (PER) und die Proteinretention (PPV) aus der Berechnung herausgenommen worden. Diese Werte sind mit n.c. (not converted = nicht umgesetzt) bezeichnet. Die Kontrollgruppe wies mit 1,13 den besten Futterquotienten auf und verschlechterte sich mit steigenden Konzentrationen an PPC1 im Futtermittel. Hierbei unterschied sich LG4 (1,91) nicht signifikant von der Kontrolle. Auch beim PER und PPV waren in der Kontrollgruppe deutlich bessere Werte festzustellen als in den Kartoffelproteingruppen. Mit steigendem Anteil an PPC1 ergab sich bis zum 75% Austausch ein nahezu linearer Anstieg des PER und umgekehrt ein nahezu linearer Abfall des PPV. Paradoxe Weise wies die Gruppe LG4 (100% PPC1) von den 4 Gruppen die besten Ergebnisse auf. Bei der Betrachtung des Hepatosomatischen Index (HSI) ergab sich mit steigendem Austausch von PPC1 ein leichter Anstieg. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant unterschiedlich voneinander. Die Werte der Futtergruppen mit hohen

Glykoalkaloidgehalten unterscheiden sich alle signifikant von der Kontrollgruppe ($P < 0,05$). Gleiche Beobachtungen konnten beim Korpulenzfaktor gemacht werden.

Körperzusammensetzung

Die Daten für die Ganzkörperanalytik werden in Tabelle 6 wiedergegeben. Es gab keine signifikanten Unterschiede im Aschegehalt zwischen den Versuchsgruppen, auffällig jedoch waren Varianzen im Trockensubstanzgehalt, Rohproteingehalt und Fettgehalt zwischen den Versuchsgruppen. Der Trockensubstanzgehalt (TS) der Kontrollgruppe war signifikant höher ($P < 0,05$) als in allen anderen Gruppen. Die Gruppen LG1, LG2 und LG4 hatten eine höhere TS als LG3. Die TS der Gruppen HG1, HG2, HG3 und HG4 lag deutlich niedriger als in den anderen Gruppen und war signifikant unterschiedlich zu diesen. Beim Rohproteingehalt wiesen die Kontrollgruppe und die Gruppen mit niedrigen Glykoalkaloidkonzentrationen geringe Schwankungen ohne signifikante Unterschiede auf. In den Gruppen mit hohem Glykoalkaloidgehalt war der Gehalt an Rohprotein im Körper leicht reduziert. Diese Gruppen wiesen signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zu den Gruppe LG2 auf. Der Gehalt an Rohprotein war in der Kontrollgruppe (111 g kg^{-1}) am höchsten, gefolgt von den Gruppen LG1, LG2 und LG4. Die Gruppe LG3 unterschied sich signifikant von den anderen Gruppen welche mit niedrigen Glykoalkaloidgehalten gefüttert wurden, lag aber noch deutlich über den Gruppen, die hohen Glykoalkaloidgehalten ausgesetzt waren. Ähnliche Ergebnisse ergab die Bestimmung der Bruttoenergie.

Tabelle 6: Effekt von verschiedenen Kartoffelproteinquellen und Glykoalkaloidkonzentrationen auf die chemische Körperzusammensetzung von Regenbogenforellen (g kg^{-1} Originalsubstanz; MJ kg^{-1} TS) am Versuchsende. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Nährstoffe	Versuchsfuttermittel								
	Kontrolle	LG1	LG2	LG3	LG4	HG1	HG2	HG3	HG4
TS	305 ^a \pm 0.7	276 ^{b,c} \pm 0.6	287 ^b \pm 0.5	267 ^c \pm 1.0	282 ^{b,c} \pm 0.2	224 ^d \pm 0.4	228 ^d \pm 0.4	227 ^d \pm 0.3	229 ^d \pm 0.3
Rohprotein	167 ^{ab} \pm 0.5	163 ^{ab,c} \pm 0.4	173 ^a \pm 0.3	170 ^{ab} \pm 0.9	167 ^{ab,c} \pm 0.2	155 ^c \pm 0.4	160 ^{b,c} \pm 0.3	155 ^c \pm 0.2	160 ^{b,c} \pm 0.3
Rohfett	111 ^a \pm 0.3	82 ^c \pm 0.3	86 ^{b,c} \pm 0.2	67 ^d \pm 0.3	91 ^b \pm 0.0	39 ^e \pm 0.1	36 ^e \pm 0.1	41 ^e \pm 0.1	39 ^e \pm 0.1
Asche	34 ^{ab} \pm 0.1	35 ^{ab} \pm 0.3	37 ^b \pm 0.1	37 ^b \pm 0.2	32 ^a \pm 0.1	34 ^{ab} \pm 0.1	36 ^{ab} \pm 0.1	36 ^{ab} \pm 0.1	36 ^{ab} \pm 0.1
Energie	27.1 ^a \pm 0.1	26.0 ^b \pm 0.1	25.9 ^b \pm 0.3	24.9 ^c \pm 0.0	26.9 ^a \pm 0.2	23.0 ^d \pm 0.0	21.9 ^e \pm 0.1	22.6 ^d \pm 0.1	22.4 ^{d,e} \pm 0.1

Blutparameter

Bei der Ermittlung und Auswertung der Blutparameter (Tabelle 7) wurden geringe Unterschiede festgestellt. Der Haematokritwert war in der Kontrollgruppe (33,8) am höchsten, dieser ist jedoch durch die relativ hohe Standardabweichung nicht signifikant unterschiedlich von den anderen Gruppen. Jedoch unterscheiden sich die Gruppen LG1, LG2, LG3 und LG4

signifikant von den Gruppen HG1, HG2 und HG4. Bei den Plasmaproteinkonzentrationen wies die Kontrollgruppe den höchsten Wert ($41,9 \text{ mg ml}^{-1}$) auf, mit steigenden Glykoalkaloidgehalten im Futtermittel ging dieser Wert bis 15 mg ml^{-1} (HG4) zurück. Bei den Plasmatriglyceriden zeigten sich vergleichbare Werte mit signifikanten Unterschieden ($P < 0,05$). Bei den Glukosewerten gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen allen Gruppen in denen Kartoffelproteine eingesetzt wurden.

Tabelle 7: Blutparameter (Haematokrit in %; Protein, Triglyceride, Glucose in mg ml^{-1}) von Regenbogenforellen, die mit den verschiedenen Versuchsfuttermitteln gefüttert wurden. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Blutparameter	Versuchsfuttermittel								
	Kontrolle	LG1	LG2	LG3	LG4	HG1	HG2	HG3	HG4
Haematokrit	$33,8^{ab} \pm 6,7$	$28,4^a \pm 6,1$	$25,2^a \pm 5,0$	$29,8^a \pm 6,0$	$30,3^a \pm 5,8$	$28,2^b \pm 5,0$	$29,3^a \pm 5,4$	$24,8^{ab} \pm 4,0$	$25,7^b \pm 6,9$
Protein	$41,9^a \pm 2,8$	$27,0^{bc} \pm 11,1$	$30,3^b \pm 6,4$	$27,4^{bc} \pm 5,2$	$21,2^{bcd} \pm 7,0$	$23,8^{bcd} \pm 4,8$	$19,4^{cd} \pm 4,8$	$19,8^{cd} \pm 2,7$	$15,0^d \pm 5,7$
Triglyceride	$3,54^a \pm 1,2$	$3,48^a \pm 1,0$	$2,23^{abc} \pm 0,9$	$2,40^{ab} \pm 0,6$	$0,93^{bc} \pm 0,7$	$0,84^{bc} \pm 0,2$	$1,02^{bc} \pm 0,6$	$0,76^{bc} \pm 0,5$	$1,67^c \pm 2,1$
Glucose	$1,43^a \pm 0,2$	$1,20^{ab} \pm 0,2$	$1,21^{ab} \pm 0,4$	$1,09^b \pm 0,2$	$0,99^b \pm 0,2$	$1,04^b \pm 0,2$	$0,99^b \pm 0,1$	$0,96^b \pm 0,1$	$0,90^b \pm 0,2$

Histologie

Befindet sich derzeit noch in der Auswertung.

Diskussion - Schlussfolgerung

An dieser Stelle erfolgt keine Auswertung und Diskussion der vorgelegten Versuchsdaten. Diese werden im Rahmen der Veröffentlichung näher erörtert. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass sich in dieser ersten Versuchsphase kein Kartoffelproteinfuttermittel als konkurrenzfähig gegenüber einer Fischmehl-basierten Rezeptur durchsetzen konnte. Dennoch zeigen die Futtermittel mit geringen Glykoalkaloidkonzentrationen viel bessere Ergebnisse gegenüber handelsüblichen Kartoffelproteinrohprodukten mit hohen Glykoalkaloidkonzentrationen. Doch auch schon geringste Mengen an Solanin und Chaconin üben einen Effekt auf die Futteraufnahme aus. Bereits ab Gehalten von 1 mg kg^{-1} (LG1) reduziert sich die aufgenommene Futtermenge um 25% gegenüber der Kontrollgruppe. Dies führt unweigerlich zu schlechteren Wachstumsergebnissen. Um einen Einsatz von Kartoffelproteinen zu gewährleisten, muss die Aufnahme in den Organismus gesichert werden. Aus diesem Grund soll eine weitere Untersuchung zur Steigerung der Futteraufnahme durchgeführt werden.

Weiterhin wird vermutet, dass Glykoalkaloide aus den Futtermitteln ausgewaschen werden und im Gesamtkreislauf Auswirkungen auf alle Futtergruppen ausüben (Systemeffekt). Es wurden jedoch keine spezifischen Wasseruntersuchungen auf diesen Einfluss durchgeführt und es kann lediglich gemutmaßt werden.

In einer zwischenzeitlich (projektunabhängig) durchgeführten Futtermitteluntersuchung zum Austausch von Fischöl durch pflanzliche Öle wurden ebenfalls Kartoffelproteine (50% des Rohproteins) mit geringen Glykoalkaloidgehalten (PPC1) eingesetzt. Die Ergebnisse zeigten auf, dass ein Austausch von Fischmehl durch PPC1 ohne gravierende Wachstumseinbußen realisiert werden kann. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in einer separaten Veröffentlichung publiziert.

4. Versuch zur Appetenzsteigerung von Kartoffelproteinfuttermitteln

In Anlehnung an die bereits gewonnenen Erkenntnisse zum Einsatz von Kartoffelproteinen in der Forellenernährung, wurde eine weitere Versuchsreihe durchgeführt, um die Aufnahme solcher Futtermittel zu steigern. Im Folgenden wird kurz ausgeführt, um welche zusätzlichen Einsatzstoffe es sich handelte (Literatur beim Autor).

Blutmehl

Blutmehl wird erfolgreich in Lockfuttern in der Angelfischerei eingesetzt und zeichnet sich durch gute Bindeeigenschaften aus. Blutmehl weist eine hohe Verdaulichkeit (bis zu 99%) bei Regenbogenforellen auf (BUREAU et al. 1999) und ist reich an den Aminosäuren Valin, Leucin und Histidin (TACON & JACKSON 1985). Aufgrund der guten Bindeeigenschaften wird es häufig in Futterpellets eingesetzt. Vergleichende Untersuchungen zur Appetenzsteigerung bei Fischen durch Zugabe von Blutmehl liegen kaum vor. MILLAMENA (2002) ersetzte Fischmehl durch Fleisch- und Blutmehl (Verhältnis 4:1) in der Ernährung des Zackenbarsches (*Epinephelus coioides*). Gewichtszunahme und spezifische Wachstumsrate lagen bis zu einer Austauschrate von 30% höher als bei der Kontrollgruppe. In einem Substitutionsversuch an der japanischen Flunder (*Paralichthys olivaceus*) ersetzte KIKUCHI (1999) Fischmehl durch Sojamehl und fügte in Vergleichsgruppen zusätzlich Blutmehl und Maisglutenmehl hinzu. Wachstum und Futterquotient der Futtergruppe der Blutmehl zugefügt wurde, waren auf gleichem Niveau wie die Kontrollgruppe und deutlich besser als bei den Futtergruppen in denen Sojamehl oder Sojamehl und Maisglutenmehl als Substitut dienten.

Muschelmehl

Muschelmehl ist, wie auch das Blutmehl, ein in Anglerkreisen oft genutzter Zusatzstoff zur Attraktivitätssteigerung des Angelfutters. Muscheln sind Bestandteil der Naturnahrung vieler Fischarten und gehören auch zum Nahrungsspektrum der Forelle. Muschelmehl hat ein für

Forellen attraktives Aminosäureprofil (BERGE & AUSTRENG 1989). In dem schon unter 2.8 beschriebenen Versuch von KIKUCHI (1999) führte die Zugabe von 5% Miesmuschelmehl in Futtermitteln mit Soja-, Blut-, und Maisglutenmehl als Fischmehlsubstitut, zu deutlich verbessertem Wachstum und Futterquotienten. KIKUCHI et al. (2002) erreichten durch Zugabe von Muschelfleischextrakt in einem fischmehlbasiertem Futter eine deutlich höhere Futteraufnahme und bessere Futterquotienten bei der japanischen Flunder. In einem weiteren Versuch von KIKUCHI und FURUTA (2009a) wurde Muschelextrakt als Futterstimulanz in Fisch- und Sojamehlfutter bei Tiger-Kugelfisch (*Takifugu rubripes*) eingesetzt. Spezifische Wachstumsrate und Gewichtszunahme wurden bei einem Einsatz von bis zu 10% Muschelextrakt deutlich gesteigert. Dieselben Autoren (2009b) ersetzten in einem weiteren Versuch beim Tiger-Kugelfisch Fischmehl durch Sojamehl und gefriergetrocknetes Miesmuschelfleisch. Der Zusatz des Muschelfleischs hatte auch hier einen positiven Effekt auf das Wachstum. MACKIE et al. (1980) untersuchten bei der Seezunge (*Solea solea* L.) den Einfluss von Muschelfleisch und einer chemischen Mixtur basierend auf der Zusammensetzung von Muschelfleisch als Zusatz in einem Casein-basierten Grundfutter. Beide Zusätze erhöhten die Futteraufnahme. Das im Muschelfleisch enthaltene Betain, Glycin und Alanin wurden als Hauptstimulanzen identifiziert.

Synthetische Futterstimulanzen

Zur Steigerung der Attraktivität eines Futtermittels können Stimulanzen eingesetzt werden, die bei Fischen zu einer größeren Akzeptanz und somit zu gesteigerter Futteraufnahme führen. Es gibt zahlreiche Untersuchungen, die sich mit dem Einsatz von Futterstimulanzen beschäftigen. Betain in Kombination mit verschiedenen Aminosäuren wurde in vielen Fällen als stimulierend identifiziert (MEARNS et al. 1987; ADRON & MACKIE 1978; MACKIE et al. 1980a; JOHNSTONE & MACKIE 1990; PAPATRYPHON & SOARES 2000, 2001; DIAS et al. 1997). L-Aminosäuren (= proteinogene AS – Bestandteil tierischer und pflanzlicher Zellen) sind die wichtigsten Stimulanzen beim Dorsch (*Gadus morhua*). Nichtaminosäuren (Betain, Inosine) haben als Einzelkomponente keinen Einfluss als Stimulanz, verstärken aber die stimulierende Wirkung von L-Aminosäuren. Es besteht ein synergetischer Effekt zwischen diesen Komponenten (JOHNSTONE & MACKIE 1990). Betain und Glycin haben eine attraktivitätssteigernde Wirkung beim Giebel (*Carassius auratus gibelio*) (XUE und CUI 2001), Betain und Alanin wurden von JONES (1989) als Geschmacksstimulanzen bei Regenbogenforellen identifiziert. FRANCO et al. (1991) zeigten beim Dorsch, dass Betain in Kombination mit Aminosäuren attraktiver ist als Betain ohne Aminosäuren. PAPATRYPHON &

SOARES (2000, 2001) erreichten durch Zugabe von 2 und 4% einer Mischung aus L-Alanin, L-Serin, Inosine-5'-monophosphat und Betain eine Steigerung der Futteraufnahme und des Gewichtszuwachs, sowie verbesserte Futterquotienten beim Streifenbarsch (*Morone saxatilis*). DIAS et al. (1997) fügten einem Sojabohnenkonzentratfutter 2,5% eines Betain-Aminosäuremix zu und erreichten dadurch eine verbesserte Futteraufnahme und einen höheren Zuwachs. Die stimulierende Wirkung einzelner Komponenten aus Garnelenextrakt auf Regenbogenforellen wurde von MEARNs et al. (1987) untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Kombination aus Betain und Aminosäuren (u.a. Glycin und Alanin) eine stärkere stimulierende Wirkung hat, als die Einzelkomponenten. YAMASHITA et al. (2006) stellten fest, dass Betain und Alanin die Geschmacksnerven der Regenbogenforellen enervieren. Betain, Glycin und Alanin haben eine stimulierende Wirkung auf die Seesunge (*Solea solea*) (MACKIE et al. 1980b). KOHBARA et al. (2000) untersuchten die stimulierende Wirkung verschiedener Aminosäuren aus Makrelenmuskelextrakt am Gelbflossentunfisch (*Seriola quinqueradiata*) und zeigten, dass Alanin und Glycin einen starken Effekt auf den Geruchssinn der Fische haben. Inosit hat einen Einfluss auf den Fettstoffwechsel und wirkt der Entstehung von Fettlebern entgegen. Eine mangelhafte Inositzufuhr löst bei Forellen unter Anderem geringe Fresslust, schlechtes Wachstum und schlechte Futterverwertung aus. Es wird empfohlen, das Futter für Forellen mit 300-500 mg Inosit je kg anzureichern (STEFFENS 1985).

Zielsetzung

Ziel der durchgeführten Untersuchung war es, die Attraktivität des in Vorversuchen untersuchten Kartoffelproteinkonzentrats zu steigern. Dies sollte durch die Zugabe von Blutmehl, Muschelmehl und einem synthetischen Mix in unterschiedlichen Dosierungen erreicht werden. Es wurden Wachstumsparameter, Futteraufnahmeintensität und Futterquotienten verglichen.

Material und Methoden

Versuchsfuttermittel

Zur Durchführung des Versuchs wurden gemäß der neu definierten Aufgabenstellung 9 Futtermittel mittels Pelletierverfahren hergestellt. Zur Beurteilung der stimulierenden Wirkung unterschiedlicher Futtermittelzusatzstoffe wurden 7 Futtermittel mit 50 % Kartoffelprotein als Proteinquelle verwendet. Eines wurde ohne weitere Zusätze eingesetzt und soll als Vergleichsgruppe (PPC) dienen. Als Stimulanzen (AT = attractant) kamen

Blutmehl (AT1, AT2) und Muschelmehl (AT3, AT4) in Dosierungen von 4 und 8 %, und ein Gemisch aus Betain, Inositol, Glycin und Alanin zu 0,5 und 1% (AT5, AT6) zum Einsatz. Des Weiteren wurden zwei Futtermittel (FM1, FM2) eingesetzt, deren Proteingehalt zu nahezu 100 % durch Fischmehl gedeckt wurde. Einem dieser Futtermittel (FM2) wurden die Glykoalkaloide Solanin und Chaconin in der Menge zugefügt, wie sie in den Kartoffelproteinfuttermitteln vorkommen. Der zuvor berechnete Rohproteingehalt aller Futtermittel beträgt 46,0 %, der Rohfettanteil 14,0 % in der Trockenmasse. Der Energiegehalt ist mit 21,19 MJ/Kg in allen Futtermitteln identisch. Die im Labor ermittelten Werte hierfür weichen teilweise geringfügig von den Berechnungen ab und sind wie die Inhaltsstoffe der Futtermittel in der Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Inhaltsstoffe und Nährstoffzusammensetzung der Futtermittel für den Appetenzsteigerungsversuch

	Versuchsfuttermittel								
	FM1	FM2	PPC	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
<i>Inhaltsstoffe (g kg⁻¹)</i>									
Fischmehl	595	595	262	205	147	231	200	262	262
PPC	-	-	268	268	268	268	268	268	268
Blutmehl	-	-	-	40	80	-	-	-	-
Muschelmehl	-	-	-	-	-	40	80	-	-
AS-mix	-	-	-	-	-	-	-	5	10
Fischöl	95	95	109	113	116	111	112	109	109
Weizenstärke	241	241	223	225	226	206	189	216	209
Weizenkleber	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Vit/Min Premix	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Magnesiumsilicat	-	-	68	80	93	75	81	70	72
Glykoalkaloids (mg kg ⁻¹)	-	2.0	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nährstoffe (g kg⁻¹)</i>									
Rohprotein	484	479	469	470	471	460	466	469	483
Rohfett	169	171	151	146	143	147	136	145	145
Asche	113	112	124	128	135	135	146	131	131
Bruttoenergie (MJ kg ⁻¹)	22.1	22.1	21.9	21.7	21.6	21.7	21.1	21.6	21.6
Trockensubstanz	917	880	927	927	935	932	936	934	936

Glykoalkaloide (mg kg⁻¹)

Solanine	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Chaconine	-	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entspricht den technischen und biologischen des ersten Fütterungsversuchs. Um sicherzustellen, dass keine systemischen Effekte über freie Glykoalkaloide im Wasser hervorgerufen werden können, wurden in den Rohren für das Ablaufwasser Aktivkohlefilter installiert. Diese Filter wurden wöchentlich erneuert.

Für den Versuch wurden Regenbogenforellen mit einem Gewicht von durchschnittlich 52 g bezogen. Vor Versuchsbeginn erfolgte eine fünf tägige Akklimatisierung an die Gegebenheiten vor Ort. In dieser Zeit erhielten die Individuen ein kommerzielles Forellenfutter (AllerAqua, Performa 45/20 2mm) mit einer täglichen Fütterungsintensität von 3% des Körpergewichts. Zum Versuchsbeginn wurden 189 Regenbogenforellen (Durchschnittsgewicht 52,8 g ± 5,2) nach dem Zufallsprinzip auf 27 Tanks verteilt. Den 9 Futtergruppen wurden ebenfalls nach dem Zufallsprinzip je 3 Tanks zugeordnet (n=3). Der Versuchszeitraum betrug 56 Tage.

Abschlussuntersuchung

siehe erster Versuch

Blutparameter

siehe erster Versuch

Ganzkörperanalyse / Futtermittelanalyse

siehe erster Versuch

Histologische Untersuchungen

entfällt

Statistische Auswertung

siehe erster Versuch

Ergebnisse

Wachstum

In der nachfolgenden Tabelle 9 sind alle Parameter des Wachstums, der Futteraufnahme und Futterverwertung der 9 Futtergruppen erfasst. Es wurde jeweils der Mittelwert aus den 3 Wiederholungen der Futtergruppen gebildet.

Tabelle 9: Wachstum und Parameter der Futterverwertung von Regenbogenforellen, bei der Fütterung von verschiedenen Kartoffelproteinquellen und Glykoalkaloidkonzentrationen. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Parameter	Versuchsfuttermittel								
	FM1	FM2	PPC	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
IBW ¹	53.1 \pm 0.7	52.8 \pm 0.3	53.0 \pm 0.6	52.5 \pm 0.4	53.1 \pm 0.9	53.2 \pm 0.6	53.0 \pm 1.1	52.3 \pm 0.1	52.3 \pm 0.6
FBW ²	190.6 ^c \pm 4.3	175.8 ^b \pm 16.7	144.4 ^{ab} \pm 20.6	140.1 ^{ab} \pm 8.4	143.5 ^{ab} \pm 11.6	133.9 ^a \pm 2.8	125.1 ^a \pm 10.2	126.6 ^a \pm 12.6	159.1 ^{abc} \pm 16.2
DFI ³	2.42 ^a \pm 0.1	2.42 ^a \pm 0.1	1.69 ^b \pm 0.3	2.04 ^{ab} \pm 0.1	1.94 ^{abc} \pm 0.1	1.75 ^{bc} \pm 0.2	1.64 ^{bc} \pm 0.1	1.48 ^c \pm 0.3	1.87 ^{bc} \pm 0.2
SGR ⁴	2.31 ^d \pm 0.0	2.17 ^{cd} \pm 0.2	1.80 ^{abc} \pm 0.3	1.77 ^{abc} \pm 0.1	1.79 ^{abc} \pm 0.2	1.67 ^{ab} \pm 0.0	1.54 ^a \pm 0.1	1.59 ^{ab} \pm 0.2	2.00 ^{bcd} \pm 0.2
FCR ⁵	1.05 ^{ab} \pm 0.1	1.12 ^{ab} \pm 0.1	0.94 ^b \pm 0.1	1.15 ^a \pm 0.1	1.09 ^{ab} \pm 0.0	1.05 ^{ab} \pm 0.1	1.06 ^{ab} \pm 0.0	0.92 ^b \pm 0.1	0.93 ^b \pm 0.0
PER ⁶	2.16 ^{ab} \pm 0.1	2.13 ^{ab} \pm 0.2	2.47 ^b \pm 0.2	2.00 ^a \pm 0.2	2.09 ^{ab} \pm 0.1	2.23 ^{ab} \pm 0.2	2.16 ^{ab} \pm 0.1	2.47 ^b \pm 0.2	2.38 ^{ab} \pm 0.1
HSI ⁷	1.41 ^a \pm 0.1	1.56 ^a \pm 0.4	1.39 ^a \pm 0.2	1.55 ^a \pm 0.1	1.49 ^a \pm 0.2	1.61 ^a \pm 0.1	1.76 ^a \pm 0.1	1.49 ^a \pm 0.1	1.59 ^a \pm 0.1
FCF ⁸	1.36 ^b \pm 0.0	1.33 ^{ab} \pm 0.0	1.26 ^{ab} \pm 0.1	1.27 ^{ab} \pm 0.1	1.30 ^{ab} \pm 0.0	1.28 ^{ab} \pm 0.0	1.27 ^{ab} \pm 0.1	1.22 ^a \pm 0.0	1.33 ^{ab} \pm 0.0

¹Anfangsgewicht; ²Endgewicht; ³tägliche Futteraufnahme (% Tag⁻¹); ⁴spezifische Wachstumsrate (% Tag) = [ln (FBW) - ln (IBW)] / Fütterungstage \times 100; ⁵Futterquotient = Futter (g) / Zuwachs (g); ⁶Proteinwirkungsverhältnis = Gewichtszunahme (g) / Proteinaufnahme (g);

⁷Hepatosomatischer Index = (Lebergewicht / Körpergewicht) \times 100, ⁸Korpulenzfaktor = 100 \times Körpergewicht_t \times Körperlänge⁻³;

Den größten individuellen Zuwachs erreichten nach 56 Tagen die Fische der Futtergruppe FM1 mit 137,5 g, gefolgt von Futtergruppe FM2 mit 123,0 g. Unter den mit Kartoffelprotein gefütterten Gruppen erreichte Futtergruppe AT6 mit 106,8 g individuellem Zuwachs als einzige mit potentiellen Appetenzsteigerern versetzte Gruppe einen höheren Zuwachs als die Kontrollgruppe PPC, lag aber augenscheinlich hinter den Fischmehlgruppen zurück. Ebenso lag in den Gruppen PPC, AT1, AT2 und AT4 lag der Zuwachs auf gleichem Niveau. Im Vergleich zur Fischmehlgruppe waren sie aber signifikant unterschiedlich von dieser ($P < 0,05$). Die geringsten Zuwachsraten erzielten die Futtergruppen AT4 und AT5.

Die spezifische Wachstumsrate der Futtergruppen stellt sich ähnlich dar wie der Zuwachs. Sie war bei Futtergruppe FM1 mit 2,31 % d⁻¹ am höchsten. Die Gruppen PPC, AT1, AT2, AT3, AT4 und AT5 wiesen einen signifikanten Unterschied zu FM1 auf. Die geringsten Wachstumsraten zeigten sich bei Futtergruppe AT4 und AT5.

Die Futtergruppen PPC, AT5 und AT6 erreichten die besten Werte bezüglich der Futterverwertung. Sie benötigten 93 g (AT5, AT9) bzw. 94 g (PPC) Futter zum Aufbau von 100 g Körpermasse (OS). Das entspricht einem Futterquotienten von 0,93 bzw. 0,94. Einen signifikanten Unterschied ($P < 0,05$) wiesen sie nur zu AT1 (FQ = 1,15) auf. Die Futterquotienten aller anderen Gruppen variieren nur gering und liegen zwischen 1,05 und 1,12.

Die beste Proteinverwertung wiesen die Futtergruppen PPC und AT5 auf. Beide benötigten

zum Aufbau von 247 g Körpermasse 100 g Protein im Futtermittel. Das PER betrug 2,47. Ein signifikanter Unterschied bestand zu Gruppe AT1 (PER: 2,00). Das PER der anderen Gruppen lag zwischen 2,09 und 2,38 und wies keine signifikanten Unterschiede zu den oben genannten Gruppen auf.

Den höchsten Korpulenzfaktor (FCF) erreichte die Futtergruppe FM1 mit 1,36. Ein signifikanter Unterschied bestand nur zu AT5 deren FCF einen Wert von 1,22 erreichte. Die Werte aller anderen Gruppen schwankten zwischen 1,27 und 1,33.

Die größte Futtermenge bis zur scheinbaren Sättigung nahmen die Futtergruppen FM1 und FM2 auf. Die Futteraufnahme betrug im Durchschnitt 2,42% des eigenen Körpergewichts pro Tag. Deutlich, aber nicht signifikant niedriger war die Futteraufnahme bei den Futtergruppen AT1 (2,05% d⁻¹) und AT2 (1,95% d⁻¹). Alle anderen Gruppen nahmen signifikant weniger Futter auf als die Fischmehlgruppen. Die geringste täglich aufgenommene Futtermenge war bei Futtergruppe AT5 mit 1,48% d⁻¹ zu verzeichnen. Beim hepatosomatischen Index wurden statistisch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Futtergruppen festgestellt. Die höchsten Werte erreichen die mit Muschelmehl versetzten Futtergruppen AT3 (1,61) und AT4 (1,76). Während des Versuchs starb kein Fisch noch zeigten sie jegliche Krankheitssymptome.

Körperzusammensetzung

Die Daten der Ganzkörperanalytik können der Tabelle 10 entnommen werden. Die Körper der Forellen hatten einen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 294 g kg⁻¹. Signifikant unterschiedlich von allen anderen Gruppen waren die Futtergruppen AT3 und AT4. Sie hatten Trockensubstanzgehalte von 264 g kg⁻¹ (AT3) und 263 g kg⁻¹ (AT4), wohingegen die anderen Gruppen TS-Gehalte zwischen 294 g kg⁻¹ und 310 g kg⁻¹ aufwiesen. Auffällig bei diesen beiden Gruppen waren ebenfalls die Werte für Rohfett im Körper. Mit 81 g kg⁻¹ (AT4) und 83 g kg⁻¹ (AT3) waren sie auch hier signifikant unterschiedlich (P<0,05) von allen anderen Gruppen.

Der Rohproteingehalt variierte zwischen 151 und 159 g kg⁻¹. Den höchsten Wert wies die Gruppe AT5 (159 g kg⁻¹) auf. In den Aschegehalten wiesen alle Gruppen keine signifikanten Unterschiede voneinander auf.

Tabelle 10: Effekt von verschiedenen Futtermitteln auf die chemische Körperzusammensetzung von Regenbogenforellen (g kg^{-1} Originalsubstanz; MJ kg^{-1} TS) am Versuchsende. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Nährstoffe	Versuchsfuttermittel								
	FM1	FM2	PPC	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
TS	303 ^{ab} \pm 0.1	302 ^{ab} \pm 0.1	301 ^{ab} \pm 0.1	308 ^a \pm 0.3	303 ^{ab} \pm 0.7	264 ^c \pm 0.4	263 ^c \pm 0.1	304 ^{ab} \pm 0.4	294 ^b \pm 0.1
Rohprotein	153 ^a \pm 0.1	153 ^{ab} \pm 0.1	154 ^{ab} \pm 0.1	158 ^{bc} \pm 0.2	153 ^a \pm 0.3	156 ^{abc} \pm 0.2	155 ^{abc} \pm 0.3	159 ^c \pm 0.2	151 ^a \pm 0.1
Rohfett	126 ^{ab} \pm 0.0	123 ^b \pm 0.2	123 ^b \pm 0.1	128 ^a \pm 0.1	125 ^{ab} \pm 0.3	83 ^d \pm 0.1	81 ^d \pm 0.0	121 ^{bc} \pm 0.1	119 ^c \pm 0.0
Asche	28 ^a \pm 0.1	30 ^a \pm 0.3	27 ^a \pm 0.3	27 ^a \pm 0.1	28 ^a \pm 0.3	26 ^a \pm 0.1	26 ^a \pm 0.1	25 ^a \pm 0.3	26 ^a \pm 0.3
Energie	28.1 ^a \pm 0.1	27.3 ^{bc} \pm 0.2	27.2 ^c \pm 0.1	27.6 ^b \pm 0.1	27.6 ^b \pm 0.1	26.4 ^d \pm 0.0	25.8 ^e \pm 0.1	28.1 ^a \pm 0.1	28.2 ^a \pm 0.2

Blutparameter

Bei der Untersuchung der Blutparameter wurden keine Unterschiede zwischen den Futtergruppen festgestellt. Lediglich bei den Haematokritwerten gab es einen signifikanten Unterschied von den Gruppen FM1, AT3 und AT6 zu den übrigen Versuchsgruppen. Alle Werte der Blutuntersuchung können der Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11: Blutparameter (Haematokrit in %; Protein, Triglyceride, Glucose in mg ml^{-1}) von Regenbogenforellen die mit den verschiedenen Versuchsfuttermitteln gefüttert wurden. Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SE) dargestellt; Mittelwerte mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0,05$)

Blutparameter	Versuchsfuttermittel								
	FM1	FM2	PPC	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
Haematokrit	33.8 ^{ab} \pm 6.7	28.4 ^a \pm 6.1	25.2 ^a \pm 5.0	29.8 ^a \pm 6.0	30.3 ^a \pm 5.8	28.2 ^b \pm 5.0	29.3 ^a \pm 5.4	24.8 ^{ab} \pm 4.0	25.7 ^b \pm 6.9
Protein	37.3 ^a \pm 5.2	38.5 ^a \pm 2.8	36.5 ^a \pm 4.4	34.1 ^a \pm 4.0	37.3 ^a \pm 3.3	33.3 ^a \pm 2.4	37.0 ^a \pm 4.8	34.3 ^a \pm 5.8	36.0 ^a \pm 3.4
Triglyceride	3.43 ^a \pm 0.7	5.47 ^a \pm 1.0	3.45 ^a \pm 1.2	4.52 ^a \pm 2.0	5.74 ^a \pm 2.1	5.69 ^a \pm 3.0	3.75 ^a \pm 1.6	3.97 ^a \pm 1.8	5.16 ^a \pm 1.9
Glucose	1.38 ^a \pm 0.2	1.47 ^a \pm 0.3	1.48 ^a \pm 0.4	1.51 ^a \pm 0.4	1.64 ^a \pm 1.0	1.20 ^a \pm 0.2	1.31 ^a \pm 0.2	1.44 ^a \pm 0.3	1.22 ^a \pm 0.2

Diskussion - Schlussfolgerung

Auch dieser Stelle erfolgt keine Auswertung und Diskussion der vorgelegten Versuchsdaten. Diese werden im Rahmen der Veröffentlichung näher erörtert. Dennoch hat der Versuch gezeigt, dass mit Kartoffelproteinen mit geringen Glykoalkaloidgehalten gute Wachstumsergebnisse zu erzielen sind. Dies stellt eine starke Verbesserung gegenüber dem ersten Versuchsvorhaben dar. Weiterhin konnten verschiedene Stoffgruppen in Kartoffelprotein-basierten Futtermitteln auf eine steigernde Wirkung bei der Futteraufnahme evaluiert werden. Hierdurch ergeben sich neue Ansatzpunkte für weitere Versuchsdurchführungen.

Desweiteren konnten im gesamten Versuchszeitraum keinerlei systemische Effekte an den Individuen beobachtet werden. Dies lässt den Schluss zu, dass entweder keine beeinflussenden Glykoalkaloidmengen aus den Futtermitteln freigesetzt wurden, oder diese durch die Aktivkohlefilter aus dem System entfernt wurden.

5. Status der weiteren Projektbearbeitung

Es lässt sich festhalten, dass die derzeit zu verzeichnenden Fortschritte in der Projektbearbeitung mit den Angaben in der Antragsplanung übereinstimmen. Durch die zwischenzeitliche Untersuchung von stimulierenden Inhaltsstoffen zur Futteraufnahmesteigerung wurde der Beginn der abschließenden Untersuchung zum Rückaustausch von Kartoffelproteinen durch Weizenkleber auf den Januar 2011 gelegt. Alle diesbezüglichen Ergebnisse und Diskussionen werden im kommenden Abschlussbericht sowie in den zugehörigen Veröffentlichungen nachzulesen sein.